心理科学进展　2020, Vol. 28, No. 5, 790–799
Advances in Psychological Science　DOI: 10.3724/SP.J.1042.2020.00790

老年人视听觉整合的影响因素及其神经机制*

杨伟平[1,3]　李胜楠[1]　李子默[1]　郭　敖[1]　任艳娜[2]

([1]湖北大学教育学院心理学系, 武汉　430062) ([2]贵州中医药大学人文与管理学院心理学教研室, 贵阳　550025)
([3]湖北大学教育学院脑与认知研究中心, 武汉　430062)

摘　要　老年人的视听觉整合能力强于还是弱于年轻人, 目前尚存在很大争议。对老年人视听觉整合脑机制的研究, 将为老年人脑保健提供一种科学的跨通道整合方案。基于已有研究成果从两方面进行论述: 1)影响老年人视听觉整合的因素, 包括刺激的物理属性、刺激呈现的时空关系以及刺激得到的注意资源。2)老年人视听觉整合效应。研究表明, 一方面, 老年人表现出更高的功能连接性、网络效率和较强的视听觉整合效应, 如: 老年人在后顶叶、内侧前额叶和左前额叶等脑区有较强的激活, 额中央区的P2振幅表现出超加性; 老年人比年轻人的视听觉整合发生较早并有较长的延伸。另一方面, 老年人有较长的反应时和较弱的整合促进, 以及对视听觉刺激进行反应时颞上回脑区的振幅弱于年轻人。简单刺激诱发的老年人视听觉整合为进一步揭示整合机制提供了可靠的基础, 但是对于复杂情景下的视听觉信息整合加工机制仍待探究。

关键词　视听整合; 老年人; 多感觉整合; 补偿机制; 促进效应

分类号　B844; B842

1　引言

人口老龄化是人类面临的一个重大社会问题, 关系到社会稳定及其可持续发展, 我国人口老龄化具有增长速度快、增长规模大、高龄老人多等新特点。随着年龄的增长, 老年人的视力、听力等基本认知能力逐渐减弱。视觉和听觉信息是人类感知外部世界的两个重要来源, 将视觉和听觉通道的信息有效地融合为统一、连贯的知觉过程, 被称作视听觉整合(Audiovisual Integration) (Li et al., 2015; Parker & Robinson, 2018; Regenbogen et al., 2017; Yang & Ren, 2017)。这种跨通道的协同工作对外部环境的信息进行完整的知觉表征是人脑系统的一项重要功能, 是高级认知功能的基础。视听觉整合主要包含两种整合效应, 一种是跨通道的错觉效应(Illusion Effect), 比如: 腹语术效应(Ventriloquism Effect) (Hairston et al., 2003)、双闪光错觉(Double-flash Illusion) (Shams, Kamitani, & Shimojo, 2000)等; 另一种是冗余效应(Redundant Effect), 即与单一感觉通道视觉或听觉信息相比, 当视觉和听觉信息同时出现时, 老年人反应得更快更准确(Laurienti, Burdette, Maldjian, & Wallace, 2006; Ren et al., 2018)。冗余效应的大小是衡量视听觉整合效应的重要行为学指标。

McGurk 和 MacDonald 发现当口型与声音不一致时, 会改变被试感知到的音节(Mcgurk & Macdonald, 1976), 即: 著名的McGurk效应, 如: 听“ba”的声音, 同时看发声者“ga”的口型, 被试将感知到另一个音节“da”, 表明视觉信息对听觉感知的影响即发生了视听觉整合(罗霄骁, 康冠兰, 周晓林, 2018)。基于McGurk效应的经典性研究范式, 研究者发现老年人与年轻人之间有相类似的视听觉整合能力, 甚至老年人比年轻人有更强的视听觉整合能力(Cienkowski & Carney, 2002; Sekiyama, Soshi, & Sakamoto, 2014)。事实和科学研究均已证明随着年龄的增长, 老年人的视敏度

收稿日期: 2019-08-13
* 国家自然科学基金项目(31700973; 31800932); 教育部人文社会科学基金项目(16YJC190025; 18XJC190003); 贵州中医药大学博士启动基金(2018[21]); 贵州省高层次留学人才创新创业择优资助项目[(2019)04]。
通信作者: 任艳娜, E-mail: yanna052267213@163.com
杨伟平, E-mail: swywp@163.com

趋向于下降，听力阈限也在逐渐提高，但有研究发现老年人的视听觉整合反而得到增强。这些发现引起了研究者们的广泛兴趣和高度关注。本文基于已有研究成果尝试对老年人的视听觉整合能力进行综述。首先阐述影响老年人视听觉整合的外部因素(物理刺激属性及时空关系等)和内部因素(注意等)；进一步从整合的时程、相关脑区阐述视听觉整合的认知神经机制；最后提出研究展望和亟待探究的问题。

2 老年人视听觉整合的影响因素

视觉和听觉通道之间是如何协作、从而将视觉和听觉信息有效地融合为统一、连贯的知觉过程是许多研究者的关注点。研究表明，视听觉整合效应的大小受许多因素的影响，比如，自下而上的外部因素(物理刺激属性、时空间关系等)、自上而下的内部因素(注意等)。

2.1 自下而上的影响因素

2.1.1 物理刺激属性对老年人视听觉整合的影响

来自视觉和听觉通道信息的物理属性对视听觉整合起着至关重要的作用，有些研究者试图运用不同刺激和任务探究老年人视听觉整合能力。Laurienti 等设计了视听觉辨别任务，即：视觉刺激为带颜色的圆盘，听觉刺激为颜色词的读音。结果发现，老年人对单独视觉、单独听觉和视听觉刺激的反应时显著长于年轻人。但是，对于老年人自身而言，对视听觉刺激的反应时显著快于单独视觉或听觉刺激。进一步对反应时进行竞争模型(Race model)分析，结果发现老年人的视听觉促进效果强于年轻人(Laurienti et al, 2006)。此外，还有研究者使用类似的分析方法，采用更为简单的视听觉刺激(视觉：二极管，听觉：白噪音)研究老年人的视听觉整合，结果发现对单一感觉刺激的反应时老年人与年轻人之间没有差异，但老年人对视听觉刺激反应更迅速，即老年人的视听觉整合强于年轻人(Peiffer, Mozolic, Hugenschmidt, & Laurienti, 2007)。老年人不仅视听觉整合强度高于年轻人(DeLoss, Pierce, & Andersen, 2013)，而且整合时间窗(Time Window of Integration)也长于年轻人(Diederich, Colonius, & Schomburg, 2008; Laurienti, Burdette, Maldjian, & Wallace, 2006; Peiffer, Mozolic, Hugenschmidt, & Laurienti, 2007; Wu, Yang, Gao, & Kimura, 2012)，如：Laurienti 等发现年轻人视听觉行为促进发生在刺激呈现后 340~550 ms，而老年人在刺激呈现后 330~740 ms。以上的研究表明，改变物理刺激并没有改变老年人行为学方面的视听觉整合能力。产生此现象的原因也许与多感觉整合原则之一的逆效应(Inverse Effectiveness)有关，即单一感觉刺激的有效性降低反而可以促进多感觉整合(Mozolic, Hugenschmidt, Peiffer, & Laurienti, 2012)。逆效应已在年轻人中得到证实，如：低强度的视听觉刺激在右前和左后头皮部位诱发出早期整合(40~60 ms)，而高强度视听觉刺激未能诱导出早期整合(Senkowski, Saint-Amour, Hofle, & Foxe, 2011)，并且低强度视觉和听觉配对刺激比高强度视觉和听觉配对刺激在丘脑核(Thalamic Nuclei)激活更强的整合活动(Noesselt et al., 2010)。根据逆效应原则，由于老年人的视力和听力的下降，多感觉视听整合也许会得以提高。

然而，Mahoney, Li, Verghese 和 Holtzer (2011)同样采用简单的视听觉刺激(视觉：黑色星号，听觉：1000 Hz tone)让被试完成探测任务以此考察老年人多感觉整合，却发现老年人的视听觉整合弱于年轻人。虽然运用的刺激属性类似，却产生了截然相反的结果。对于其他更为复杂的视听觉刺激，老年人的视听整合效应又会有什么样的变化，这个问题逐渐引起科研工作者的关注。此后在行为学层面上有研究发现，视觉信号内容对年轻人和老年人的跨通道视听觉整合均有影响。年轻人在三种视觉条件(正常发音面孔、低对比度发音面孔、类似口型的无意义图)与听觉配对后均有整合，并且在正常发音面孔与声音配对时诱发的整合效应最大，而老年人仅在与正常发音面孔配对条件下存在冗余效应(Tyemurray, Spehar, Myerson, Sommers, & Hale, 2011)。该研究表明，对于 McGurk 效应诱发的视听觉整合效应，老年人与年轻人存在显著的差异。对于情绪面孔(基本情绪)或者非语言情绪声音的辨别老年人显著慢于年轻人(Ruffman, Henry, Livingstone, & Phillips, 2008)。然而，在跨通道的情绪面孔和情绪声音配对呈现时，除了愤怒情绪外，老年人的正确率和年轻人没有显著差异。进一步的竞争模型分析表明情绪面孔和情绪声音相结合时，老年人与年轻人有相同程度的受益性(Chaby, Luherne-du Boullay, Chetouani, & Plaza, 2015)。故对跨通道情

绪信息知觉时，年龄差异将会消失(Hunter, Phillips, & MacPherson, 2010)。

可见，关于简单刺激诱发的视听觉整合，老年人强于还是弱于年轻人仍存在矛盾。此研究结果暗示，对于不同属性的物理刺激，老年人的整合加工机制可能是不同的。另外，对于情绪面孔而言，老年人视听觉整合与年轻人之间不存在年龄差异。造成此结果的原因也许是由于老年人具有丰富的认知经验，对具有社会性信息的刺激能更好的整合。

2.1.2 刺激呈现的时空关系对老年人视听觉整合的影响

跨通道的整合是个复杂的过程，不仅受刺激本身的影响，也许还受其他因素的影响。有研究表明，视觉和听觉刺激呈现的时空关系也会影响视听觉整合效果(Jones, Beierholm, Meijer, & Noppeney, 2019; Kaganovich & Schumaker, 2016; Li, Yang, Sun, & Wu, 2015; Yang et al., 2014)。Frassinetti 等(2002)在神经元水平上发现了控制视听觉整合的时间和空间规则(Frassinetti, Bolognini, & Ladavas, 2002)。当视觉和听觉刺激同时呈现时出现视觉促进效应，但当视觉与听觉刺激呈现时间间隔(stimulus onset asynchrony, SOA)超过 500 ms 时视觉促进效应消失。然而，在视觉选择性注意条件下，视觉促进效应在视觉和听觉刺激同时呈现时出现，但在 SOA 大于 100 ms 时即消失(Bolognini, Frassinetti, Serino, & Làdavas, 2005)。随着年龄的增长，人们对辨别刺激之间的同时性、刺激呈现的时间顺序和刺激之间的耦联关系变得更加困难，导致刺激之间的时间捆绑窗口与年轻人相比宽度增加(Bedard & Barnett-Cowan, 2016; Diederich & Colonius, 2015; Poliakoff, Shore, Lowe, & Spence, 2006; Setti, Burke, Kenny, & Newell, 2011)。有研究采用视听辨别任务考察了不同 SOA 条件下老年人的视听整合(Ren, Yang, Nakahashi, Takahashi, & Wu, 2017)。结果发现，所有被试对视听同时呈现的反应时显著快于单独或不同时呈现刺激的反应时，但在所有条件下老年人的反应时均慢于年轻人。更为有趣的是，不论老年人还是年轻人当视听觉刺激同时以及间隔 50 ms 时均出现了视听促进效应；当视听刺激间隔 100 ms 时促进效应消失；当视听刺激间隔 150 ms 时反而出现了视听抑制效应。利用竞争模型进一步分析得知，老年人在不同的 SOA 条件下的整合时间窗和峰值潜伏期比年轻人显著延迟，并且随着 SOA 的扩大，视听觉整合被延迟更加严重。另外，有研究考察了视听觉整合的空间规则，当视觉和听觉刺激呈现在相隔 16°的位置时仍然会出现视觉促进效应 (Frassinetti, Bolognini, & Ladavas, 2002)。进一步的探究发现视听觉促进效应随着两种刺激呈现位置的变化不断发生变化，即从中心(0°)到周边位置(30°、60°)逐渐降低，到右侧 90°时不再有促进效应(Stevenson et al, 2012)；然而，当视觉呈现在被试前方，听觉呈现在 180°位置时促进效应又出现了(Yang et al., 2013)。有研究基于视觉、听觉和视听觉刺激的空间辨别任务，研究视听觉整合能力的老化效应(Zou, Chau, Ting, & Chan, 2017)。结果发现，老年人在脑中部及额中部区域(central and fronto-central regions)诱发出显著的多感觉 P2，即：视听觉刺激同时呈现时，诱发的电位振幅显著高于单独呈现视觉和听觉诱发电位之和，然而这种超加性加工并未在年轻人中发现。这些研究发现表明老年人群体在空间辨别任务中的表现比年轻人群体有更大的视听促进效应，暗示了老年人增强的视听觉整合可以起到补偿其相对下降的认知能力的调节作用，例如注意力功能。综上所述，目前研究中的刺激呈现的时间间隔及空间位置并不全面，如：刺激呈现的空间位置仅在水平面，未考虑立体空间、远近位置等。另外，刺激呈现的时间和空间的相关性对老年人视听觉整合的影响仍不清楚，这些需要研究者们进一步考察。

2.2 自上而下的影响因素

除了自下而上的物理刺激对视听觉整合的影响，自上而下的自身认知状态也可能会对其产生较大影响。这类研究大部分针对年轻人，主要围绕注意与视听觉整合之间的关系进行探究(Morís Fernández, Visser, Ventura-Campos, Ávila, & Soto-Faraco, 2015; Tang, Wu, & Shen, 2016; 彭姓，常若松，任桂琴，王爱君，唐晓雨，2018；于薇，王爱君，张明，2017)。有研究的结果表明，当视觉和听觉信息均被注意(即分配性注意)时，视听觉整合不仅发生在早期的感觉处理阶段(Sensory processing stage)，而且发生在后期的认知处理阶段(Cognitive processing stage)；而当仅注意单一感觉通道感觉信息(视觉或听觉)时，视听觉整合只发生在后期认知处理阶段(Giard & Peronnet, 1999; Li, Wu, &

Touge, 2010; Talsma & Woldorff, 2005; Wu, Li, Bai, & Touge, 2009)。然而, 对于老年群体的已有研究并不多(Hugenschmidt, Mozolic, & Laurienti, 2009; Hugenschmidt, Peiffer, McCoy, Hayasaka, & Laurienti, 2009; Mishra & Gazzaley, 2013)。

研究采用视听觉整合范式, 即单独视觉刺激、单独听觉刺激以及跨通道的视听觉刺激三种类型随机呈现。分配性注意要求被试对三种类型的刺激均做出按键反应, 而视觉选择性注意则对单独的视觉刺激和视听觉刺激做反应; 听觉选择性注意则对单独的听觉刺激和视听觉刺激做反应。结果发现, 在分配性和选择性注意条件下老年人和年轻人均表现出对跨通道的视听觉刺激反应显著快于对单通道视觉或听觉刺激的反应(Hugenschmidt et al., 2009)。通过竞争模型分析, 发现在分配性和选择性条件下老年人的差异曲线下面积均大于年轻人, 并且在两年龄组中选择性注意条件下的差异曲线下面积显著小于分配性注意条件, 即分配性注意条件下的视听觉整合促进效应显著大于选择性注意条件下的视听觉整合效应。在所有条件下, 老年人比年轻人均具有更高的视听觉整合能力, 但仍能够通过选择性注意降低整合能力。老年人的注意力加工是完整的, 但不能补偿分配性注意期间感觉处理量的总体增加。此结果揭示了老年人自上而下地调控视听觉整合是有效的, 暗示了感觉功能的根本改变可能是老年人多感觉整合整体转变的基础。此研究为进一步探究自上而下的内部因素对老年人视听觉整合影响的研究探明了方向, 但具体机制问题仅是推测并未得到充分的证据, 故未来研究可对其脑机制做更深入更系统的阐明。然而, 对于复杂的语义加工而言, 不管语义一致还是语义不一致, 在年轻人和老年人群体中也发现分配性注意时的整合强于选择性注意。此外, 事件相关神经加工显示在选择性注意和分配性注意条件下高能力的老年人与年轻人有类似的视听觉整合能力, 故没有足够的证据支持跨通道注意的年龄缺陷(Mishra & Gazzaley, 2013)。可见, 虽然已有研究关注了老年人自上而下的认知因素对视听觉整合的影响, 但是这一方向仍有较大的探究空间。未来研究可以考虑其他自上而下的因素, 比如个体预期、情绪状态等, 这些因素对老年人的视听觉整合可能会产生较大影响。

总体而言, 导致老年人视听觉整合不稳定性的可能原因包括: 刺激的物理属性、时空关系、注意资源的分配等, 但并未得到充分证明。老年人对简单的无意义的图形、光和纯音、白噪音诱发出的视听觉整合与基于 McGurk 效应诱发的视听觉整合存在不同; 甚至对类似的简单刺激诱发的整合也存在不同。虽然有一些研究者试图深入探究老年人视听觉整合机制, 但不同的设计方案、刺激属性、被试认知状态等对结果会产生不容忽视的影响(Couth et al., 2018; Gibney et al., 2017; Mahoney et al. 2011; Stephen, Knoefel, Adair, Hart, & Aine, 2010)。所以未来研究应该消除以上影响因素, 更系统地探究老年人的视听觉整合, 并从整合出现的时间和涉及的大脑结构考察老年人视听觉整合的脑神经机制。

3　老年人视听觉整合的神经机制

为了更深入的探究老年人视听觉整合, 有研究者对其神经机制开展了研究。本文对其脑神经机制研究结果进行逐步阐述, 以揭示老年人视听觉整合加工的变化过程。

3.1　老年人视听觉整合的相关脑区

有研究运用脑磁图(Magnetoencephalogram, MEG)技术研究语义相关的视听觉整合, 发现当刺激呈现后 100 ms 时, 在老年组和年轻组中都发现了, 感觉特异性区域对跨通道的视听觉刺激的反应活性显著强于对单通道视觉或听觉刺激的反应活性。然而, 当刺激呈现后 150~300 ms 时仅老年人在后顶叶(Posterior Parietal Cortex)和内侧前额叶(Medial Prefrontal Cortex)区域有较强的脑活动。由于老年人存在跨通道的促进效应, 故在后顶叶和内侧前额叶区域的活动增强可能起到补偿作用; 视听觉整合过程随着年龄的变化而变化, 使得后顶叶和内侧前额叶活动成为老年人整合反应的基础(Diaconescu, Hasher, & McIntosh, 2013)。但是, 同样运用 MEG 技术研究简单刺激(Soccer ball/Pure tone)的视听觉整合却发现与之相反的结果。当刺激呈现后约 100 ms 时, 老年人在颞上回(Superior Temporal Gyrus)区域视听觉刺激诱发的振幅弱于年轻人(Stephen et al., 2010)。老年人对多感觉视听整合反应表现出的皮层抑制性, 与其较慢的反应时和减弱的行为促进作用相一致, 可能与老年人视觉和听觉加工处理能力下降有关。然

而，有研究运用功能性磁共振成像(Functional magnetic resonance imaging, fMRI)技术，研究视听语音感知过程中老年人与年轻人的整合差异。进行全脑逐个体素分析(voxel-wise whole-brain analysis)发现，老年人在左听皮层和双侧视觉皮层的纹外区显示出较大的被试内变异性，然而，年轻人并没有显示出被试内变异性。对感兴趣区域(region-of-interest, ROI)的 BLOD 信号进行分析发现老年人在左颞上沟，左听皮层和左视觉皮层均比年轻人有较大的组内变异性。研究结果暗示老年人增加的神经变异性可能与衰老时出现的认知功能下降有关(Baum & Beauchamp, 2014)。

3.2 老年人视听觉整合的神经振荡

有研究对简单刺激诱发的脑电图(Electroencephalogram, EEG)信号进行时频分析，发现老年人在左额叶(Left frontal Lobe)区域对视听觉刺激比年轻人表现出更强的 theta (4~7 Hz)节律能量谱(Yan et al., 2016)，证实左额叶在老年人的视听觉整合过程中起着重要作用。Wang 等人(2018)进一步对简单刺激(棋盘格/纯音)诱发的 EEG 信号使用相位延迟指数(Phase Lag Index, PLI)进行功能连接性分析，并以 PLI 值为边的权重计算依据建立有权无向脑网络，并计算网络节点效率。结果发现，视听觉刺激呈现后 PLI 连接显示出明显的动态变化，与年轻人相比，老年人在 EEG 低频段 theta (4~7 Hz)和 alpha (8~13 Hz)脑功能区的连接显著增加；网络特征结果显示，老年人的节点效率在低频段 theta 和 alpha 也显著增加。这些较高的网络效率反映了老年人与年轻人执行同样的任务时老年人需求更多的注意力和认知控制。有研究结合神经元振荡的相位同步和网络地形图的理论分析 EEG 数据考察与年龄相关的视听觉整合，在视听觉刺激呈现 50~200 ms 时老年人在高频段 beta 节律(13~30 Hz)比年轻人具有更强的功能连接性和更高的网络效率(Wang et al., 2017)。同时发现，对于视听觉刺激诱发的电位，老年人振荡功能连通性强于年轻人，表明老年人在执行任务时存在更强的锁相；皮尔森相关(Pearson correlation)分析显示老年人的 beta 频段网络参数与行为反应之间存在显著的相关关系。以上的研究结果只有视听觉条件下 EEG 信号有显著的年龄组差异，而单独视觉或听觉刺激诱发的电位无差异，此结果反映了老年人比年轻人具有更强的视听觉整合效应。

3.3 老年人视听觉整合的加工阶段

事件相关电位(Event-related potentials, ERPs)结果显示，视听刺激诱发的 P1 和 N1 的振幅显著小于单独视觉和单独听觉诱发电位之和，并且 P1 的振幅在老年人中比年轻人减小的更大；这些成分的振幅减小说明在跨通道视听刺激同时呈现时运用较少的神经资源就能很好地完成行为任务。同时发现视听刺激诱发 N1 的潜伏期显著早于单独视觉和单独听觉之和，老年人的此效应同样大于年轻人，暗示老年人的神经元反应早于年轻人。老年人比年轻人有更好的整合效益，再次证明老年人对视听觉认知可能存在某种特殊的补偿机制(Winneke & Phillips, 2011)。另外，有研究考察老年人在完成不同时空间任务时视听觉整合的变化及是否存在补偿机制。Ren 等人研究发现当视觉与听觉刺激同步呈现时，老年人和年轻人的视听整合都发生于刺激后 80~110 ms 的早期阶段，但是老年人的持续时间晚于年轻人(Old adults: 280~300 ms; Young adults: 210~240 ms)。当视觉与听觉刺激异步(听觉先于视觉 50 ms 与 100 ms)呈现时，老年人出现最早的 80~110 ms 整合而年轻人则缺失(Ren et al., 2018)。此结果表明，老年人对视听时间异步刺激较早地启动神经元反应，从而可能以此应对单一感觉通道的衰退，也就是说老年人启动不同的资源来维持与年轻人相似的行为活动(Yu, Pianta, Bode, & Mckendrick, 2017)。同时，有研究发现当老年人执行空间辨别任务时比年轻人有较大的视听觉促进效应，并且老年人在额中央区的 P2 振幅具有超加性，即视听觉刺激诱发的电位显著大于单独视觉和单独听觉刺激诱发电位之和。此结果表明年龄相关效应调节了感知和反馈阶段的综合过程，暗示视听觉整合也许在空间辨别过程中起到功能性调节作用，以补偿由老化导致受损的注意力(Zou, Chau, Ting, & Chan, 2017)。

综上所述，研究者采用不同的技术手段(MEG/EEG/fMRI/ERP)探究了老年人的视听觉整合的神经机制，但是这些神经学证据之间存在相互矛盾之处，即老年人整合脑区的活动强于还是弱于年轻人。另外，老年人的脑功能区的连接性高于年轻人，并且整合加工时间也长于年轻人。造成此结果的原因可能是老年人对视听觉感知可

能存在某种特殊的补偿机制(Freiherr, Lundstrom, Habel, & Reetz, 2013), 然而具体的机制尚不明确。

4 小结与展望

随着老龄化问题的不断严重, 老年人群的视听觉整合问题得到研究者们的高度关注。老年人的视听觉整合具有复杂性、多阶段性及不稳定性。为了更清晰地了解老年人视听觉整合能力, 本文尝试对老年人视听觉整合的研究要点进行系统性梳理, 概括如下: (1)影响老年人视听觉整合的因素有: 物理刺激属性(二极管、圆盘、星号、纯音、白噪音、面孔等)、刺激呈现的时空关系、注意的分配性等。(2)老年人视听觉整合的认知神经机制: 一方面, 老年人在后顶叶(Posterior Parietal)、内侧前额叶(Medial Prefrontal)和左前额叶(Left Prefrontal Lobe)有较强的激活, 在额中央区的 P2 振幅具有超加性; 老年人比年轻人有更大的 BLOD 信号变化, 视听觉整合发生较早并有较长的延伸, 反映了老年人具有更强的视听觉整合效应。另一方面, 老年人反应时更长, 整合促进更弱, 以及对视听觉刺激的反应在颞上回(Superior Temporal Gyrus)脑区的振幅弱于年轻人。无论从行为学层面还是脑机制结果, 均显示老年人视听觉整合趋势的不稳定性(强于或弱于年轻人)。

虽然前人研究对老年人的视听觉整合进行了探讨, 但目前研究结论仍然存在矛盾和冲突, 许多关键性问题未得到解决。本文结合已有研究的不足, 提出以下几点展望:

第一, 证实老年人视听觉整合脑神经机制有关的刺激及任务依赖性假说。老年人视听觉整合受到客观的物理刺激属性、呈现的时空关系以及主观注意影响。故未来研究应该在控制以上因素的基础上, 采用不同复杂度的刺激(如: 静态的简单无意义逐步过渡到动态复杂有意义), 设计同样的认知任务, 同时运用同样的数据分析技术从整合加工的时程和大脑结构方面全面剖析老年人的整合机制。这是证实老年人视听觉整合的刺激及任务依赖性假说的有效途径。

第二, 探究老年人视听觉整合的补偿机制。根据逆效应(若单一感觉刺激的有效性降低就会促进多感觉整合增强(Krueger, Stevenson, Nidiffer, Barnett, & Wallace, 2016)原则, 老年人为了弥补单一感觉通道认知能力的下降, 可能会有较强的多感觉视听整合, 但是逆效应在老年人的视听觉整合能力方面仍未得到证明。所以降低物理刺激强度验证老年人整合是否符合整合原则之一的逆效应是解决这一问题的有效方法。有行为学研究显示当老年人和年轻人对单一感觉刺激的反应时没有差异时, 老年人却仍然表现出比年轻人更强的视听觉整合(Peiffer, Mozolic, Hugenschmidt, & Laurienti, 2007)。此结果暗示了老年人视听觉整合原理可能超出逆效应而存在其他的某种特殊补偿机制。有研究发现视听觉整合补偿了老年人视觉时间顺序的敏感性损失(Boer-Schellekens & Vroomen, 2014), 但老年人具体的补偿机制仍不确定。故确定视听觉整合出现的时程从而判断其加工过程, 以及从整合的精确大脑脑区判断除了整合经典脑区(Koelewijn, Bronkhorst, & Theeuwes, 2010; Talsma, Senkowski, Soto-Faraco, & Woldorff, 2010) (superior colliculus, SC; superior temporal sulcus, STS; ventral intraparietal area, VIP; lateral intraparietal area, LIP; ventrolateral prefrontal cortex, VLPFC)之外是否有其他脑区的激活, 并结合行为学结果合理判断激活脑区的功能(Grady, 2012), 是探究视听觉整合是否具有其他特殊补偿机制的有效途径。具体而言, 随着信息的复杂度以及强度变化, 老年人的视听觉整合是否发生实质性改变是有效地解释及证实老年人整合能力的补偿机制假说的关键。由于感觉通道之间存在相互作用, 除视觉和听觉通道相互整合外, 未来研究可关注老年人其他通道的整合加工机制, 如: 视味觉、视嗅觉、手眼协调等, 也许存在着其他补偿机制。例如, 训练手眼协调的能力能提高老年人的注意力和参与活动的兴趣, 改善反应能力及动作协调性, 从而可以延缓老年人的生理和心理衰退过程。

第三, 探究老年人视听觉整合的可塑性机理。大量研究表明输入的视觉与听觉信息在时间上的邻近性是影响整合的重要因素之一(Ren et al., 2017; Stein & Meredith, 1993)。由于信号转换与神经处理过程需要一定的时间, 被感知到的非同步信息间的时间间隔被称为时间绑定窗口(Temporal Binding Window, TBW), 并且视觉信息先出现与听觉信息先出现的绑定机制是不同的(Cecere, Gross, & Thut, 2016)。研究发现, 老年人的整合时间绑定窗口大于年轻人(Bedard & Barnett-Cowan,

2016)。经过视听知觉训练使跨通道的时间判断更加准确、对视听觉信息的感知能力更加敏感，即：窄化了多感觉时间绑定窗口(De Niear, Gupta, Baum, & Wallace, 2018; Powers, Hillock, & Wallace, 2009)。同时，视觉信息和听觉信息提示顺序的辨别训练降低了老年人对声音引起的闪光错觉的敏感性(Setti et al., 2014)。根据电生理学和影像学研究的证据，视听多感官训练增强了对运动刺激的视觉处理能力(Grasso, Benassi, Ladavas, & Bertini, 2016)。上述研究表明，视听觉训练对老年人视听感知能力产生了一定的影响，如：缩小时间窗口、增强多感官整合等。有趣的是，视听觉的训练效果可以扩展到其他未经训练的能力，即"远迁移"。有研究发现经过视听觉时空间判断训练老年人的 P300 成分得到显著提高(Yang et al., 2018)。故视听感知训练可以使健康老年人产生远迁移，对包括注意力在内的许多认知能力产生积极影响(Dieter, Melnick, & Tadin, 2016; Mozolic, Long, Morgan, Rawley-Payne, & Laurienti, 2011; Zendel & Alain, 2014)，证明了老化的大脑具有可塑性(Gutchess, 2014)。因此，视听感知觉是高级认知功能的基础，整合能力是对外界信息形成完整知觉表征的关键，老年人视听觉整合本身是否具有可塑性关系到其能否得以改善的核心问题。故从行为学和脑神经机制方面证实老年人整合能力是否具有可塑性及如何得到科学改善，是未来研究需解决的关键问题。除此以外，随着年龄的增长老年人的视力、听力等基本感知觉能力明显减退，出现老年性的视觉、听觉障碍，使老年人和周围环境逐渐隔离，不仅给其日常生活造成困难，还会引起抑郁、孤独等复杂的心理问题。未来研究可从跨通道的视听觉角度探究老年人视觉障碍和听觉障碍的机制，这将对其诊断和治疗起到重要的辅助作用。同时，统觉训练方案及其机制，可作为预防疾病的良好方法，以此开发视听健脑软件，对延缓老龄化进程、提高老年人身心健康水平有重要的现实价值。由于目前对老年人进行跨通道的训练大部分研究仍采用的是简单刺激(圆盘、纯音等)，为了提高老年人的兴趣及更好的达到干预效果，未来研究可设计符合老年人特征的有趣的跨通道训练任务。

综上所述，虽然研究者们针对老年人的视听觉整合能力做了一定的研究，但是存在争议和矛盾，即其确切机制仍不清楚，如：老年人的整合是否依赖于诱导刺激和任务(简单或复杂、静态或动态)、老年人整合的补偿机制是如何产生的等。另外，有研究证实了老年人视听觉整合具有可塑性，但对于老年人而言，这种可塑性的机理及具体干预方案仍需在清楚明确整合脑机制的基础上深入探究。因此，弄清视听觉整合的老年化机理，提出改善老年人视听觉整合的方案亟待新研究探索。

参考文献

罗霄骁，康冠兰，周晓林. (2018). McGurk 效应的影响因素与神经基础. *心理科学进展, 26*(11), 1935–1951.

彭姓，常若松，任桂琴，王爱君，唐晓雨. (2018). 外源性注意与多感觉整合的交互关系. *心理科学进展, 26*(12), 2129–2140.

于薇，王爱君，张明. (2017). 集中和分散注意对多感觉整合中听觉主导效应的影响. *心理学报, 49*(2), 164–173.

Baum, S. H., & Beauchamp, M. S. (2014). Greater bold variability in older compared with younger adults during audiovisual speech perception. *PLoS One, 9*(10), e111121.

Bedard, G., & Barnett-Cowan, M. (2016). Impaired timing of audiovisual events in the elderly. *Experimental Brain Research, 234*(1), 331–340.

Boer-Schellekens, L., & Vroomen, J. (2014). Multisensory integration compensates loss of sensitivity of visual temporal order in the elderly. *Experimental Brain Research, 232*(1), 253–262.

Bolognini, N., Frassinetti, F., Serino, A., & Làdavas, E. (2005). "Acoustical vision" of below threshold stimuli: Interaction among spatially converging audiovisual inputs. *Experimental Brain Research, 160*(3), 273–282.

Cecere, R., Gross, J., Thut, G., & Molholm, S.. (2016). Behavioural evidence for separate mechanisms of audiovisual temporal binding as a function of leading sensory modality. *European Journal of Neuroscience, 43*(12), 1561–1568.

Chaby, L., Boullay, V. L., Chetouani, M., & Plaza, M. (2015). Compensating for age limits through emotional crossmodal integration. *Frontiers in Psychology,* 6, 12.

Cienkowski, K. M., & Carney, A. E. (2002). Auditory-visual speech perception and aging. *Ear and Hearing, 23*(5), 439–449.

Couth, S., Gowen, E., & Poliakoff, E. (2018). Using race model violation to explore multisensory responses in older adults: Enhanced multisensory integration or slower unisensory processing? *Multisensory Research, 31*(3-4), 151–174.

Deloss, D. J., Pierce, R. S., & Andersen, G. J. (2013). Multisensory integration, aging, and the sound-induced flash illusion. *Psychology and Aging, 28*(3), 802–812.

de Niear, M. A., Gupta, P. B., Baum, S. H., & Wallace, M. T. (2018). Perceptual training enhances temporal acuity for multisensory speech. *Neurobiology of Learning and Memory, 147*, 9–17.

Diaconescu, A. O., Hasher, L., & McIntosh, A. R. (2013). Visual dominance and multisensory integration changes with age. *NeuroImage, 65*, 152–166.

Diederich, A., & Colonius, H. (2015). The time window of multisensory integration: Relating reaction times and judgments of temporal order. *Psychological Review, 122*(2), 232–241.

Diederich, A., Colonius, H., & Schomburg, A. (2008). Assessing age-related multisensory enhancement with the time-window-of-integration model. *Neuropsychologia, 46*(10), 2556–2562.

Dieter, K. C., Melnick, M. D., & Tadin, D. (2016). Perceptual training profoundly alters binocular rivalry through both sensory and attentional enhancements. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 113*(45), 12874–12879.

Frassinetti, F., Bolognini, N., & Ladavas, E. (2002). Enhancement of visual perception by crossmodal visuo-auditory interaction. *Experimental Brain Research, 147*(3), 332–343.

Freiherr, J., Lundstrom, J. N., Habel, U., & Reetz, K. (2013). Multisensory integration mechanisms during aging. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*(863), 1–6.

Giard, M. H., & Peronnet, F. (1999). Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans: A behavioral and electrophysiological study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 11*(5), 473–490.

Gibney, K. D., Aligbe, E., Eggleston, B. A., Nunes, S. R., Kerkhoff, W. G., Dean, C. L., & Kwakye, L. D. (2017). Visual distractors disrupt audiovisual integration regardless of stimulus complexity. *Frontiers in Integrative Neuroscience, 11*(1), 1–17.

Grady, C. (2012). The cognitive neuroscience of ageing. *Nature Reviews Neuroscience, 13*(7), 491–505.

Grasso, P. A., Benassi, M., Ladavas, E., & Bertini, C. (2016). Audio-visual multisensory training enhances visual processing of motion stimuli in healthy participants: An electrophysiological study. *European Journal of Neuroscience, 44*(10), 2748–2758.

Gutchess, A. (2014). Plasticity of the aging brain: New directions in cognitive neuroscience. *Science, 346*(6209), 579–582.

Hairston, W. D., Wallace, M. T., Vaughan, J. W., Stein, B. E., Norris, J. L., & Schirillo, J. A.. (2003). Visual localization ability influences cross-modal bias. *Journal of Cognitive Neuroscience, 15*(1), 20–29.

Hugenschmidt, C. E., Mozolic, J. L., & Laurienti, P. J. (2009). Suppression of multisensory integration by modality-specific attention in aging. *Neuroreport, 20*(4), 349–353.

Hugenschmidt, C. E., Peiffer, A. M., McCoy, T. P., Hayasaka, S., & Laurienti, P. J. (2009). Preservation of crossmodal selective attention in healthy aging. *Experimental Brain Research, 198*(2-3), 273–285.

Hunter, E. M., Phillips, L. H., & Macpherson, S. E. (2010). Effects of age on cross-modal emotion perception. *Psychology and Aging, 25*(4), 779–787.

Jones, S. A., Beierholm, U., Meijer, D., & Noppeney, U. (2019). Older adults sacrifice response speed to preserve multisensory integration performance. *Neurobiology of Aging, 84*, 148–157.

Kaganovich, N., & Schumaker, J. (2016). Electrophysiological correlates of individual differences in perception of audiovisual temporal asynchrony. *Neuropsychologia, 86*, 119–130.

Koelewijn, T., Bronkhorst, A., & Theeuwes, J. (2010). Attention and the multiple stages of multisensory integration: A review of audiovisual studies. *Acta Psychologica, 134*(3), 372–384.

Krueger, J., Stevenson, R., Nidiffer, A., Barnett, Z., & Wallace, M. (2016). Stimulus intensity modulates multisensory temporal processing. *Neuropsychologia, 88*, 92–100.

Laurienti, P. J., Burdette, J. H., Maldjian, J. A., & Wallace, M. T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of Aging, 27*(8), 1155–1163.

Li, Q., Wu, J., & Touge, T. (2010). Audiovisual interaction enhances auditory detection in late stage: An event-related potential study. *Neuroreport, 21*(3), 173–178.

Li, Q., Yang, H., Sun, F., & Wu, J. (2015). Spatiotemporal relationships among audiovisual stimuli modulate auditory facilitation of visual target discrimination. *Perception, 44*(3), 232–242.

Li, Y., Long, J., Huang, B., Yu, T., Wu, W., Liu, Y., ... Sun, P. (2015). Crossmodal integration enhances neural representation of task-relevant features in audiovisual face perception. *Cerebral Cortex, 25*(2), 384–395.

Mahoney, J. R., Li, P. C., Oh-Park, M., Verghese, J., & Holtzer, R. (2011). Multisensory integration across the senses in young and old adults. *Brain Research, 1426*, 43–53.

Mcgurk, H., & Macdonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature, 264*(5588), 746–748.

Mishra, J., & Gazzaley, A. (2013). Preserved discrimination performance and neural processing during crossmodal attention in aging. *PLoS One, 8*(11), e81894.

Morís Fernández, L., Visser, M., Ventura-Campos, N., Ávila, C., & Soto-Faraco, S. (2015). Top-down attention regulates the neural expression of audiovisual integration. *NeuroImage, 119*, 272–285.

Mozolic, J. L., Hugenschmidt, C. E., Peiffer, A. M., & Laurienti, P. J. (2012). *Multisensory integration and aging*. Florida, MA: Boca Raton (FL), CRC Press.

Mozolic, J. L., Long, A. B., Morgan, A. R., Rawley-Payne,

M., & Laurienti, P. J. (2009). A cognitive training intervention improves modality-specific attention in a randomized controlled trial of healthy older adults. *Neurobiology of Aging, 32*(4), 655–668.

Noesselt, T., Tyll, S., Boehler, C. N., Budinger, E., Heinze, H. J., & Driver, J. (2010). Sound-induced enhancement of low-intensity vision: Multisensory influences on human sensory-specific cortices and thalamic bodies relate to perceptual enhancement of visual detection sensitivity. *Journal of Neuroscience, 30*(41), 13609–13623.

Parker, J. L., & Robinson, C. W. (2018). Changes in multisensory integration across the lifespan. *Psychology and Aging, 33*(3), 545–588.

Peiffer, A. M., Mozolic, J. L., Hugenschmidt, C. E., & Laurienti, P. J. (2007). Age-related multisensory enhancement in a simple audiovisual detection task. *Neuroreport, 18*(10), 1077–1081.

Poliakoff, E., Shore, D. I., Lowe, C., & Spence, C. (2006). Visuotactile temporal order judgments in ageing. *Neuroscience Letters, 396*(3), 207–211.

Powers, A. R., 3rd, Hillock, A. R., & Wallace, M. T. (2009). Perceptual training narrows the temporal window of multisensory binding. *Journal of Neuroscience, 29*(39), 12265–12274.

Regenbogen, C., Seubert, J., Johansson, E., Finkelmeyer, A., Andersson, P., & Lundström, J. N. (2017). The intraparietal sulcus governs multisensory integration of audiovisual information based on task difficulty. *Human Brain Mapping, 39*(3), 1313–1326.

Ren, Y., Ren, Y., Yang, W., Tang, X., Wu, F., Wu, Q., ... Wu, J. (2018). Comparison for younger and older adults: Stimulus temporal asynchrony modulates audiovisual integration. *International Journal of Psychophysiology, 124*, 1–11.

Ren, Y., Suzuki, K., Yang, W., Ren, Y., Wu, F., Yang, J., ... Hirata, K. (2018). Absent audiovisual integration elicited by peripheral stimuli in parkinson's disease. *Parkinson's Disease,* (1), 1–10.

Ren, Y., Yang, W., Nakahashi, K., Takahashi, S., & Wu, J. (2017). Audiovisual integration delayed by stimulus onset asynchrony between auditory and visual stimuli in older adults. *Perception, 46*(2), 205–218.

Ruffman, T., Henry, J., Livingstone, V., & Phillips, L. (2008). A meta-analytic review of emotion recognition and aging: Implications for neuropsychological models of aging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 32*(4), 863–881.

Sekiyama, K., Soshi, T., & Sakamoto, S. (2014). Enhanced audiovisual integration with aging in speech perception: A heightened McGurk effect in older adults. *Frontiers in Psychology, 5*, 323.

Senkowski, D., Saint-Amour, D., Hofle, M., & Foxe, J. J. (2011). Multisensory interactions in early evoked brain activity follow the principle of inverse effectiveness. *NeuroImage, 56*(4), 2200–2208.

Setti, A., Burke, K. E., Kenny, R. A., & Newell, F. N. (2011). Is inefficient multisensory processing associated with falls in older people? *Experimental Brain Research, 209*(3), 375–384.

Setti, A., Stapleton, J., Leahy, D., Walsh, C., Kenny, R. A., & Newell, F. N. (2014). Improving the efficiency of multisensory integration in older adults: Audio-visual temporal discrimination training reduces susceptibility to the sound-induced flash illusion. *Neuropsychologia, 61*, 259–268.

Stein, B. E., & Meredith, M. A. (1993). *The merging of the senses*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology (MIT) Press.

Shams, L., Kamitani, Y., & Shimojo, S. (2000). What you see is what you hear. *Nature, 408*(6814), 788–788.

Stephen, J. M., Knoefel, J. E., Adair, J., Hart, B., & Aine, C. J. (2010). Aging-related changes in auditory and visual integration measured with MEG. *Neuroscience Letters, 484*(1), 76–80.

Stevenson, R. A., Fister, J. K., Barnett, Z. P., Nidiffer, A. R., & Wallace, M. T. (2012). Interactions between the spatial and temporal stimulus factors that influence multisensory integration in human performance. *Experimental Brain Research, 219*(1), 121–137.

Talsma, D., Senkowski, D., Soto-Faraco, S., & Woldorff, M. G. (2010). The multifaceted interplay between attention and multisensory integration. *Trends in Cognitive Sciences, 14*(9), 400–410.

Talsma, D., & Woldorff, M. G. (2005). Selective attention and multisensory integration: Multiple phases of effects on the evoked brain activity. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*(7), 1098–1114.

Tang, X., Wu, J., & Shen, Y. (2016). The interactions of multisensory integration with endogenous and exogenous attention. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 61*, 208–224.

Tye-Murray, N., Spehar, B., Myerson, J., Sommers, M. S., & Hale, S. (2011). Cross-modal enhancement of speech detection in young and older adults: Does signal content matter? *Ear and Hearing, 32*(5), 650–655.

Wang, B., Li, P., Li, D., Niu, Y., Yan, T., Li, T., ... Xiang, J. (2018). Increased functional brain network efficiency during audiovisual temporal asynchrony integration task in aging. *Frontiers in Aging Neuroscience, 10*(316), 1–15.

Wang, L., Wang, W., Yan, T., Song, J., Yang, W., Wang, B., ... Wu, J. (2017). Beta-band functional connectivity influences audiovisual integration in older age: An EEG study. *Frontiers in Aging Neuroscience, 9*(239), 1–11.

Winneke, A. H., & Phillips, N. A. (2011). Does audiovisual speech offer a fountain of youth for old ears? An event-related brain potential study of age differences in

audiovisual speech perception. *Psychology and Aging, 26*(2), 427–438.

Wu, J., Li, Q., Bai, O., & Touge, T. (2009). Multisensory interactions elicited by audiovisual stimuli presented peripherally in a visual attention task: A behavioral and event-related potential study in humans. *Journal of Clinical Neurophysiology, 26*(6), 407–413.

Wu, J., Yang, W., Gao, Y., & Kimura, T. (2012). Age-related multisensory integration elicited by peripherally presented audiovisual stimuli. *Neuroreport, 23*(10), 616–620.

Yan, T., Bi, X., Zhang, M., Wang, W., Yao, Z., Yang, W., & Wu, J. (2016). Age-related oscillatory theta modulation of multisensory integration in frontocentral regions. *Neuroreport, 27*(11), 796–801.

Yang, W., Chu, B., Yang, J., Yu, Y., Wu, J., & Yu, S. (2014). Elevated audiovisual temporal interaction in patients with migraine without aura. *The Journal of Headache and Pain, 15*(44), 1–10.

Yang, W., Guo, A., Li, Y., Qiu, J., Li, S., Yin, S., ... Ren, Y. (2018). Audio-visual spatiotemporal perceptual training enhances the P300 component in healthy older adults. *Frontiers in Psychology, 9*(2537).

Yang, W., Li, Q., Ochi, T., Yang, J., Gao, Y., Tang, X., ... Wu, J. (2013). Effects of auditory stimuli in the horizontal plane on audiovisual integration: An event-related potential study. *PLoS One, 8*(6), e66402.

Yang, W., & Ren, Y. (2017). Attenuated audiovisual integration in middle-aged adults in a discrimination task. *Cognitive Processing, 19* (1), 41–45.

Yu, M. C., Pianta, M. J., Bode, S., & Mckendrick, A. M. (2017). Spatio-temporal patterns of event-related potentials related to audiovisual synchrony judgments in older adults. *Neurobiology of Aging, 55*, 38–48.

Zendel, B. R., & Alain, C. (2014). Enhanced attention-dependent activity in the auditory cortex of older musicians. *Neurobiology of Aging, 35*(1), 55–63.

Zou, Z., Chau, B. K. H., Ting, K. H., & Chan, C. C. H. (2017). Aging effect on audiovisual integrative processing in spatial discrimination task. *Frontiers in Aging Neuroscience, 9*, 374.

The influential factors and neural mechanisms of audiovisual integration in older adults

YANG Weiping[1,3]; LI Shengnan[1]; LI Zimo[1]; GUO Ao[1]; REN Yanna[2]

([1] *Department of Psychology, Faculty of Education, Hubei University, Wuhan* 430062, *China*)

([2] *Department of Psychology, College of Humanities and Management, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang* 550025, *China*) ([3] *Brain and Cognition Research Center (BCRC), Faculty of Education, Hubei University, Wuhan* 430062, *China*)

Abstract: There is still much debate over whether older adults have enhanced or attenuated audiovisual integration. Research on the neural mechanism of audiovisual integration in older adults is needed to provide a scientific brain-health programme based on crossmodal integration. Here, we summarized two parts based on previous studies. First, audiovisual integration ability in older adults is influenced by the characteristics of the physical stimuli, the spatial and temporal relationships of the stimuli, and the attentional allocation. Second, audiovisual integration effects are observed in older adults. On the one hand, older adults showed higher functional connectivity, network efficiency and enhanced audiovisual integration effects, such as stronger activity in the posterior parietal lobe, medial prefrontal lobe, left prefrontal lobe, and the super-additive amplitude of P2 observed in the central prefrontal region. In addition, audiovisual integration in older adults occurred earlier and extended longer than that in younger adults. On the other hand, older adults have slower response times and smaller amplitudes to audiovisual stimuli in the superior temporal gyrus than younger adults, which shows a weaker integration facilitation effect in older adults. The study of audiovisual integration in older adults induced by simple stimuli provides a reliable basis for further revealing the integration mechanism, but the processing mechanism of audiovisual integration for complex situations remains to be explored.

Key words: audiovisual integration; older adults; multisensory integration; compensation mechanism; facilitation effect